

## Полупроводниковые диоды

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и 2-мя внешними выводами.

В различных полупроводниковых диодах используются те или иные свойства выпрямляющего перехода. Все существующие диоды можно классифицировать по исходному материалу, по технологии изготовления, по площади р-п-перехода и его особенностям.

- по исходному материалу: германиевые, кремниевые и т.д.;
- по технологии изготовления: сплавные (диффузия одного вещества в другое), эпитаксиальные (ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого);
- по конструкции (по площади р-п-перехода): симметричные и несимметричные, резким и плавным переходом, точечные и плоскостные.

Плоскостные диоды благодаря большой площади р-п-перехода используются для выпрямления больших токов. Точечные диоды имеют малую площадь перехода и, соответственно, предназначены для выпрямления малых токов. Для увеличения напряжения лавинного пробоя используются выпрямительные столбы, состоящие из ряда последовательно включенных диодов.

Выпрямительные диоды большой мощности называют силовыми. Материалом для таких диодов обычно служит кремний или арсенид галлия. Германий практически не применяется из-за сильной температурной зависимости обратного тока. Кремниевые сплавные диоды используются для выпрямления переменного тока с частотой до 5 кГц. Кремниевые диффузионные диоды могут работать на повышенной частоте, до 100 кГц. Кремниевые эпитаксиальные диоды с металлической подложкой (с барьером Шотки) могут использоваться на частотах до 500 кГц. Арсенидгаллиевые диоды способны работать в диапазоне частот до нескольких МГц.

При большом токе через р-п-переход значительное напряжение падает в объеме полупроводника, и пренебрегать им нельзя. С учетом выражения (5) вольт - амперная характеристика выпрямительного диода приобретает вид

$$I = I_0 e^{(U-IR)/\varphi T} \quad (11)$$

где  $R$  – сопротивление объема полупроводникового кристалла, которое называют последовательным сопротивлением.

Так же ток диода можно определить  $I = I_0 (e^{qU/kT} - 1)$  или  $I = I_0 (e^{U/m\varphi T} - 1)$ ,

где  $m$  – поправочный коэффициент, Ge:  $m = 1$ ; Si:  $m = 2$ .

А обратный ток диода при  $N_a \gg N_d$   $I_0 = \frac{q\Pi \cdot n_i^2 D_n}{\Delta N_d}$ , где  $D_n$  – коэффициент диффузии

неосновных носителей.

Или  $I_0 = kT^m e^{U_{g0}/\eta qT}$ , где  $E_{g0} = qU_{g0}$  – ширина запрещенной зоны при  $T = 0$  К.

Ge:  $\eta = 1$ ;  $m = 2$ ;  $U_{g0} = 0,785$  В

Si:  $\eta = 2$ ;  $m = 1,5$ ;  $U_{g0} = 1,21$  В

На вольт – амперную характеристику оказывает влияние температура, при ее увеличении обратный ток диода увеличивается примерно в 2 раза у Ge и в 2,5 раза у Si на каждые  $10^\circ\text{C}$ .

Для Ge:  $I_0(T) = I_{01} \cdot 2^{(T_1 - T_2)/10}$ ,  $I_{01}$  – измерен при температуре  $T_1$ .

Максимальное допустимое увеличение  $I_0$  диода определяется максимально допустимой температурой диода, которая составляет  $80 - 100^\circ\text{C}$  для Ge и  $150 - 200^\circ\text{C}$  для Si. Минимальная допустимая температура лежит в пределах  $-60 \div -70^\circ\text{C}$ .

Удельное сопротивление р-области полупроводника:

$$\rho_p = \frac{1}{\sigma_p} \approx \frac{1}{N_a q \mu_p}$$

где  $\mu_p$  – подвижность дырок.

Объемное сопротивление р и n-областей

$$R = \frac{\rho l}{\Pi}$$

где  $l$  – длина областей.

Условное графическое обозначение полупроводникового диода приведено на *рисунке а*, а его структура на *рисунке б*. Электрод диода, подключенный к области р, называют анодом (по аналогии с электровакуумным диодом), а электрод, подключенный к области n, катодом. Статическая вольт - амперная характеристика диода показана на *рисунке в*.

Силовые диоды обычно характеризуют набором статических и динамически параметров. К статическим параметрам диода относятся:

- падение напряжения  $U_{\text{ПР}}$  на диоде при некотором значении прямого тока;
- обратный ток  $I_{\text{ОБР}}$  при некотором значении обратного напряжения;
- среднее значение прямого тока  $I_{\text{ПР.СР}}$ ;
- импульсное обратное напряжение  $U_{\text{ОБР}}$ .

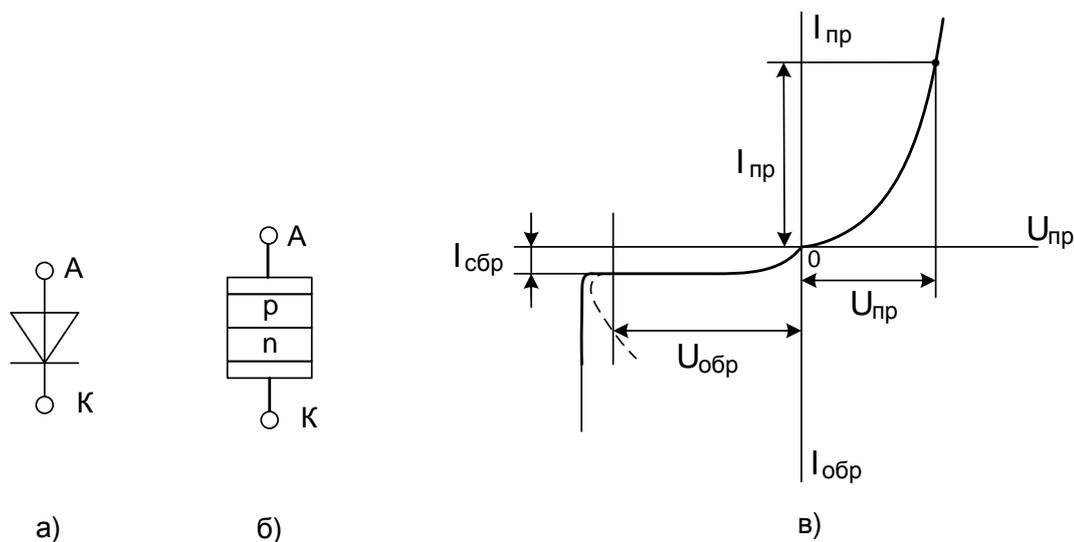


Рисунок Условное обозначение полупроводникового диода а) его структура б) и вольт – амперная характеристика в)

К динамическим параметрам диода относятся его временные или частотные характеристики. К таким параметрам относятся:

- время восстановления обратного напряжения;
- время нарастания прямого тока  $I_{нар}$ ;
- предельная частота без снижения режимов диода  $f_{MAX}$ .

Статические параметры можно установить по вольт - амперной характеристике диода, которая приведена на рисунке в. Типовые значения статических параметров силовых диодов приведены в *таблице*.

Таблица

Статические параметры силовых выпрямительных диодов

Тип диода	Технология изготовления	$I_{обр}$ , мА (при $U_{обр}$ , В)		$U_{пр}$ , В (при $I_{пр}$ , мА)	
Д247	сплавной	3,0	500	1,5	10
КД213	диффузионный	0,2	200	1,0	10
КД2998	эпитаксиальный с барьером Шотки	20,0	35	0,6	30

Время обратного восстановления диода  $t_{вос}$  является основным параметром выпрямительных диодов, характеризующим их инерционные свойства. Оно определяется при переключении диода с заданного прямого тока  $I_{пр}$  на заданное обратное напряжение  $U_{обр}$ .